

Janeiro e Fevereiro de 1999

VOL. XLVI | Nº 263

Viçosa – Minas Gerais

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

**ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE  
COMPORTAMENTO DE VINTE CULTIVARES DE  
MILHO EM DEZ AMBIENTES DO ESTADO DE  
MINAS GERAIS<sup>1</sup>**

José Antônio Veronesi<sup>2</sup>  
José Carlos Silva<sup>2</sup>  
Cosme Damião Cruz<sup>2</sup>  
Adair José Regazzi<sup>3</sup>  
Carlos Henrique Osório Silva<sup>3</sup>  
Carlos Alberto Scapim<sup>2</sup>

**1. INTRODUÇÃO**

A performance de cultivares em diferentes ambientes é diferenciada, ou seja, o melhor cultivar em determinado ambiente dificilmente se mantém superior quando cultivado em ambientes diversos. A esta resposta diferenciada dos cultivares com a variação do ambiente denomina-se interação genótipos x ambientes. Isto significa que os efeitos genéticos e

<sup>1</sup>Parte da tese apresentada pelo primeiro autor, à Universidade Federal de Viçosa, para obtenção do título de *Magister Scientiae*. Aceito para publicação em 21.03.1997.

<sup>2</sup>Departamento de Biologia Geral, Universidade Federal de Viçosa, 36571-000 Viçosa, MG.

<sup>3</sup>Departamento de Informática, Universidade Federal de Viçosa, 36571-000 Viçosa, MG.

ambientais não são independentes, uma vez que as respostas fenotípicas dos genótipos podem diferir com as variações ambientais (10).

MORAIS (7) relata que uma medida em uso para reduzir a interação genótipos x ambientes é a estratificação dos ambientes. EBERHART e RUSSELL (3) propõem que uma região, para a qual se pretende desenvolver variedades, pode ser dividida em sub-regiões mais homogêneas, com base em dados de temperatura, distribuição de chuvas e tipos de solo, dentre outros. Todavia, mesmo com este refinamento, as interações podem permanecer elevadas, considerando que a estratificação do ambiente não reduz a interação genótipos x anos (11), nem controla eficazmente as variações imprevisíveis do ambiente (1). FUNNAH e MAK (4) afirmam que, mesmo com a divisão da região, pode ocorrer a interação dos genótipos com as sub-regiões, tornando ineficiente a técnica. Assim, para reduzir a interação genótipos x ambientes e ter maior previsibilidade de comportamento, de forma eficiente e racional, é necessário identificar genótipos mais estáveis (3). Há também a necessidade de se identificarem genótipos adaptados às condições específicas de cada ambiente.

Dentre os vários métodos desenvolvidos para a caracterização dos genótipos quanto à estabilidade fenotípica e adaptabilidade, podem ser citados os de PLAISTED e PETERSON (9), EBERHART e RUSSELL (3) e CRUZ *et alii* (2), todos fundamentados na interação genótipos x ambientes e que se distinguem-se nos conceitos de estabilidade adotados e em certos princípios estatísticos empregados.

Com o objetivo de avaliar-se o comportamento de 20 cultivares de milho, em 10 ambientes no Estado de Minas Gerais, realizou-se este trabalho, em que se empregaram as metodologias de PLAISTED e PETERSON (9), EBERHART e RUSSELL (3) e CRUZ *et alii* (2).

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram usados neste estudo os dados obtidos do Ensaio Nacional de Milho Precoce, coordenado pelo Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (CNPMS) da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

Os dados referem-se aos pesos de grãos, em kg/ha, padronizados para 14,5% de umidade, de 20 cultivares de milho de ciclo precoce e porte normal, ensaiados em 10 locais (ambientes) no Estado de Minas Gerais. Cinco ensaios foram realizados no ano agrícola de 1989/90 em Rio Paranaíba, Uberlândia, Sete Lagoas, Capinópolis (CEPET/UFV) e Viçosa (UFV). Os outros cinco ensaios, no ano agrícola 1990/91, em Uberlândia,

Capinópolis (CEPET/UFV), Capinópolis (Sementes Agrocere S/A), Coimbra (UFV) e Lavras.

As análises estatísticas para estudar a adaptabilidade e estabilidade dos cultivares foram realizadas pelos métodos de PLAISTED e PETERSON (9); EBERHART e RUSSELL (3) e CRUZ *et alii* (2).

O princípio da metodologia proposta por PLAISTED e PETERSON (9) é que cada cultivar contribui com uma fração da variância atribuída à interação cultivares x ambientes. Assim, os autores descreveram o parâmetro de estabilidade ( $\theta_i$ ) como a média aritmética dos componentes de variância da interação entre pares de cultivares x ambientes ( $\sigma_{ga}^2$ ) que envolve determinado cultivar.

O método de EBERHART e RUSSELL (3) baseia-se em análise de regressão linear, que mede a resposta de cada cultivar às variações ambientais. Para cada um deles é computada uma regressão linear simples da variável dependente considerada (normalmente produção de grãos ou frutos) e o índice ambiental, definido como a média de todos os cultivares no ambiente, menos a média geral. Os parâmetros de adaptabilidade são a média ( $\beta_{oi}$ ) e o coeficiente de regressão linear ( $\beta_{1i}$ ). A estabilidade é avaliada pelos desvios da regressão ( $\sigma^2$ ) e pelo coeficiente de determinação ( $R_{di}^2$ ).

O método de CRUZ *et alii* (2) baseia-se na análise de regressão bi-segmentada e tem, como parâmetros de adaptabilidade, a média ( $\beta_{oi}$ ), a resposta linear aos ambientes desfavoráveis ( $\beta_{1i}$ ) e a resposta linear aos ambientes favoráveis ( $\beta_{1i} + \beta_{2i}$ ). A estabilidade é avaliada pelo quadrado médio dos desvios da regressão e o coeficiente de determinação ( $R^2$ ). Ambientes desfavoráveis são aqueles com índices ambientais negativos, e ambientes favoráveis são aqueles com índices ambientais positivos.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As estimativas do parâmetro de estabilidade do método de PLAISTED e PETERSON (9) encontram-se no Quadro 1. Verifica-se que C 411, HATÃ 1000 e C 505 são os cultivares mais estáveis, de acordo com o método, e classificam-se em 6º, 9º e 3º lugar na classificação geral das médias de produção. Acrescenta-se ainda que o DINA 170, o mais produtivo, apresentou-se em 18º lugar em estabilidade. Nota-se, portanto, que não houve coincidência entre material produtivo e estável.

KANG e MILLER (6) utilizaram o método de PLAISTED e PETERSON (9) para avaliar a estabilidade de clones de cana-de-açúcar e

encontraram resultados semelhantes, em que o clone mais produtivo foi considerado o mais instável. Nesse mesmo estudo, encontraram clones produtivos e estáveis. Para os autores, os resultados apresentados pelo método podem ser embaraçosos quando o número de cultivares em estudo for relativamente grande, podendo ser proveitoso somente se um pequeno número de cultivares for avaliado. Acrescentam ainda que o método informa somente sobre a estabilidade, e falta um mecanismo para testar a significância do parâmetro obtido.

QUADRO 1 - Parâmetros de adaptabilidade e estabilidade estimados pelas metodologias de PP – PLAISTED e PETERSON (9), ER – EBERHART e RUSSELL (3) e C.T.V. – CRUZ, TORRES e VENCOVSKY (2)								
Cultivares	Produção Média (kg/ha)	PP		ER		C.T.V.		
		$\hat{\theta}_i$ (%)	$\hat{\beta}_{1i}$	$\hat{\sigma}_{di}^2$	$R^2(\%)$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2$	$R^2(\%)$
C 505	6.299 (3) <sup>1</sup>	2,28 (3) <sup>1</sup>	0,99	-15.152 ns	91	1,00	0,84	91
BR 201	5.744 (12)	3,41 (9)	1,20	51.317 ns	92	1,20	1,21	92
U 502	5.514 (15)	6,03 (15)	1,28*	306.950++	86	1,27*	1,42	86
HATÃ 1000	5.773 (9)	2,04 (2)	1,11	-68,779 ns	95	1,10	1,21	95
AGROMEN 2010	5.771 (10)	5,85 (14)	1,10	412.906++	78	1,12	0,92	78
C 425	5.888 (7)	2,80 (7)	1,00	50.304 ns	88	1,01	0,90	88
C 431	5.650 (13)	6,08 (16)	0,87	431.091++	69	0,92	0,45	69
AGROMEN 2012	5.446 (17)	5,19 (12)	0,82	293.328++	72	0,81	0,95	72
DINA 70	6.198 (4)	6,27 (17)	1,15	439.463++	79	1,21	0,72	79
DINA 556	4.822 (20)	17,36(20)	0,43**	1.284.694++	19	0,38**	0,88	19
GO 873	5.556 (14)	4,50 (11)	0,83	210.251 +	76	0,88	0,35	76
C 411	5.928 (6)	1,76 (1)	1,05	-84.288 ns	95	1,10	0,69	95
G-96 C	6.408 (2)	2,31 (5)	1,02	-11.152 ns	91	0,96	1,55	91
IR-31	5.819 (8)	9,39 (19)	0,95	870.661++	61	0,84	1,86*	61
DINA 170	6.962 (1)	8,18 (18)	1,51**	246.451 +	90	1,39**	2,57**	90
C 435	6.179 (5)	2,93 (8)	1,02	66.731 ns	88	1,00	1,17	88
AGROMEN 2005	5.327 (18)	2,54 (6)	0,82	-42.432 ns	89	0,83	0,69	89
AG 303	5.770 (11)	3,54 (10)	0,89	123.479 ns	82	0,98	0,11*	82
IAC 100B	5.165 (19)	5,26 (13)	0,95	353.975++	75	0,97	0,76	75
AG 405	5.460 (16)	2,29 (4)	0,97	-14,511 ns	91	1,00	0,71	91

<sup>1</sup> Classificação de valores.

\*, \*\* Diferem significativamente de 1, pelo teste t, a 5 e 1%, respectivamente.

+, ++ Significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

ns Não-significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

As estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade do método de EBERHART e RUSSELL (3) encontram-se no Quadro 1. Estes autores definiram a adaptabilidade, medida pelo coeficiente de regressão linear ( $\beta_{1i}$ ), como sendo a capacidade dos genótipos aproveitarem vantajosamente o estímulo do ambiente. Genótipos com adaptabilidade geral deveriam apresentar  $\beta_{1i}$  igual a um, os de adaptabilidade específica a ambientes favoráveis  $\beta_{1i}$  maior que um, e aos ambientes desfavoráveis,  $\beta_{1i}$  menor do que um.

A estabilidade foi definida como sendo a capacidade dos genótipos apresentarem um comportamento previsível, em razão do estímulo ambiental. Genótipos com previsibilidade alta seriam os que apresentassem a variância dos desvios da regressão ( $\sigma_{di}^2$ ) igual a zero e com previsibilidade baixa,  $\sigma_{di}^2$  maior que zero (3).

O método de EBERHART e RUSSELL (3) tem sido utilizado em todas as culturas. Foi utilizado por vários autores para estudar o comportamento do milho, entre eles OLIVEIRA (8) e GAMA e HALLAUER (5).

Considerou-se como primeiro parâmetro para a avaliação dos cultivares a média geral de produção. Assim, DINA 170, G-96 C, C 505, DINA 70 e C 435 se destacaram, com produções médias superiores a 6.000 kg/ha.

O cultivar DINA 170, com a maior produção média geral, apresentou  $\beta_{1i}$  significativamente acima de um, evidenciando adaptação a ambientes de alta produtividade e, conseqüentemente, é capaz de sobressair em relação aos outros cultivares quando um melhor nível tecnológico for utilizado. Quanto à estabilidade, apresentou  $\sigma_{di}^2$  maior do que zero, ou seja, previsibilidade baixa. Porém, este fato não deve ser tão limitante quando da tomada de decisão acerca desse material, porque ele apresentou um coeficiente de determinação considerado alto ( $R^2 = 90\%$ ).

G-96 C, segundo cultivar mais produtivo, apresentou coeficiente de regressão igual a um,  $\sigma_{di}^2$  não-significativo e coeficiente de determinação alto ( $R^2 = 91\%$ ). Conforme EBERHART e RUSSELL (3), ele pode ser considerado o genótipo ideal, de adaptabilidade geral e previsibilidade de comportamento alta, capaz de responder ao estímulo do ambiente e de ser previsível, mantendo bom desempenho quando as condições ambientes forem desfavoráveis à cultura.

Os cultivares C 505 e C 435 são alternativas ao G-96 C, com as mesmas características quanto à adaptabilidade e estabilidade, porém foram um pouco menos produtivos.

O cultivar DINA 70 apresentou coeficiente de regressão que não diferiu significativamente de um, demonstrando capacidade satisfatória quanto aos estímulos ambientais, porém apresentou a variância dos desvios da regressão significativa e o coeficiente de determinação relativamente baixo ( $R^2 = 79\%$ ); logo, é pouco previsível, devendo-se ter cuidado em não recomendá-lo para plantio geral.

Cultivares com adaptabilidade específica para ambientes desfavoráveis não foram identificados pela metodologia de EBERHART e RUSSELL (3). O único (DINA 556) que apresentou coeficiente de regressão estatisticamente menor que um teve a pior média geral de produção, a maior variância dos desvios da regressão e o menor coeficiente de determinação.

É importante observar que C 425, C 411, BR 201, HATÃ 1000 e AG 303 produziram próximo ou acima da média geral dos ensaios (5.784 kg/ha) e apresentaram os parâmetros de adaptabilidade e estabilidade conforme foram definidos para o genótipo ideal.

A metodologia de CRUZ *et alii* (3) ajusta, para cada cultivar, uma única equação constituída de dois segmentos de reta, com união no ponto correspondente ao valor zero do índice de ambiente. Para CRUZ *et alii* (3), um genótipo ideal seria aquele que apresentasse média de produção alta, resposta linear aos ambientes desfavoráveis ( $\beta_{1i}$ ) menor que um, resposta linear aos ambientes favoráveis ( $\beta_{1i} + \beta_{2i}$ ) maior que um e desvios da regressão iguais a zero.

Os parâmetros de adaptabilidade e estabilidade estimados pelo método de CRUZ *et alii* (3) encontram-se no Quadro 1. Nesta metodologia, serão discutidos apenas os cinco cultivares de maior produtividade média.

DINA 170 apresentou tanto  $\beta_{1i}$  como  $\beta_{1i} + \beta_{2i}$  significativamente maiores do que um e o quadrado médio dos desvios da regressão não significativo, sendo, portanto, o cultivar ideal para os ambientes favoráveis.

Para os ambientes desfavoráveis, o cultivar ideal seria aquele que apresentasse rendimento alto e  $\beta_{1i}$  e  $\beta_{1i} + \beta_{2i}$  menores que um. Nenhum cultivar satisfaz esta condição.

G-96 C apresentou as respostas lineares aos ambientes desfavoráveis ( $\beta_{1i}$ ) e favoráveis ( $\beta_{1i} + \beta_{2i}$ ) estatisticamente iguais a um, porém a estimativa  $\beta_{1i} + \beta_{2i}$  foi maior que um, o que indica boa resposta aos ambientes favoráveis. Este cultivar também mostrou-se previsível quanto ao comportamento.

A diferença entre as respostas dos cultivares nos ambientes favoráveis ( $\beta_{1i} + \beta_{2i}$ ) e desfavoráveis ( $\beta_{1i}$ ) é quantificada por  $\beta_{2i}$ . Portanto, se  $\beta_{2i}$  não diferir significativamente de zero,  $\beta_{1i}$  e ( $\beta_{1i} + \beta_{2i}$ ) serão iguais e o

comportamento do cultivar será idêntico nos ambientes favoráveis e desfavoráveis. Neste caso, então, seria recomendada uma única equação de regressão para representar o comportamento do cultivar, pela simplicidade do modelo. Assim, o comportamento de C 505, DINA 70 e C 435 poderia ser avaliado por um modelo linear simples. Os cultivares que apresentaram comportamento linear bissegmentado foram DINA 170, IR-31 e AG 303. Verifica-se, portanto, que, para a grande maioria dos cultivares utilizados neste estudo, o modelo de regressão linear simples pode ser usado para representar os dados.

O genótipo ideal, conforme definiram CRUZ *et alii* (3), não foi encontrado entre os estudados.

Este método é relativamente recente e vem despertando o interesse dos melhoristas, que freqüentemente têm identificado cultivares com comportamento não-linear nas diversas culturas.

#### 4. RESUMO E CONCLUSÕES

Foram avaliados vinte cultivares (híbridos) de milho em dez ambientes do Estado de Minas Gerais, quanto à adaptabilidade e estabilidade de comportamento. As metodologias utilizadas foram as de PLAISTED e PETERSON (9), EBERHART e RUSSELL (3) e CRUZ *et alii* (2). A primeira identificou C 411, HATÃ 1000 e C 505 como os cultivares mais estáveis, e mostrou que não houve coincidência entre cultivar produtivo e estável. Na metodologia de EBERHART e RUSSELL (3), considerou-se como primeiro parâmetro para a avaliação dos cultivares a média geral de produção. Assim, DINA 170, G-95 C, C 505, DINA 70 e C 435 se destacaram, com produções médias superiores a 6.000 kg/ha. O cultivar DINA 170 mostrou-se adaptado a ambientes favoráveis. O G-96C foi considerado o cultivar ideal. C 505 e C 435 são alternativos a G-96 C, com as mesmas características quanto à adaptabilidade e estabilidade, porém menos produtivos. DINA 70 mostrou-se pouco previsível, devendo-se ter cuidado ao recomendá-lo. O método de CRUZ *et alii* (2) identificou o DINA 70 como o cultivar ideal para ambientes favoráveis, concordando com a metodologia de EBERHART e RUSSELL (3). G-96 C mostrou-se mais adequado que o cultivar DINA 170 para recomendação geral e mostrou-se capaz de responder à melhoria do ambiente. Dos vinte cultivares estudados, DINA 170, IR-31 e AG 303 apresentaram comportamento linear bissegmentado. Tal fato justifica a utilização de uma metodologia que se baseia na análise de regressão bissegmentada para o estudo da adaptabilidade e estabilidade de comportamento. Não foi identificado, neste

estudo, nenhum cultivar com adaptabilidade específica para ambientes desfavoráveis.

## 5. SUMMARY

### (ADAPTABILITY AND STABILITY OF TWENTY MAIZE CULTIVARS IN TEN ENVIRONMENTAL SITES IN MINAS GERAIS STATE, BRAZIL)

Twenty maize cultivars were studied in ten environmental sites in Minas Gerais, Brazil, to evaluate their adaptability and stability. The following methodologies were used: PLAISTED and PETERSON (1959), EBERHART and RUSSELL (1966) and CRUZ *et alii* (1989). The first methodology showed cultivars C 411, HATÃ 1000 and C 505 with higher stability. No agreement was verified between productive and stable cultivars. According to EBERHART and RUSSELL's methodology, the yield general average was considered the first parameter considered to evaluate the cultivars. DINA 170, G-96 C, C 505, DINA 70 and C 435 stood out with average yields up to 6,000 kg/ha. Cultivar DINA 170 showed adaptability to favorable environmental sites. G-96 C was considered the ideal cultivar. C 505 and C 435 were considered alternatives to G-96 C, with the same characteristics with respect to adaptability and stability but less productive. DINA 70 was less predictable, so caution should be taken when recommending it to general adaptability. CRUZ *et alii* methodology identified DINA 170 as the ideal cultivar to favorable environmental sites, similarly as found by EBERHART and RUSSELL's methodology. G-96 C was more appropriate than DINA 170 to general recommendation, and it showed to be responsive to environment improvement. Of all the twenty studied cultivars, only DINA 170, IR-31 and AG 303 showed two-segmented linear behavior. This justifies the use of a methodology based on two-segmented regression analysis to study adaptability and stability. This study did not identified any genotype with specific adaptability to unfavorable environmental sites.

## 6. LITERATURA CITADA

1. ALLARD, R. W. & BRADSHAW, A. D. Implications of genotype environment interactions in applied plant breeding. *Crop Sci.*, 4:503-508, 1964
2. CRUZ, C. D.; TORRES, R. A. & VENCOSKY, R. An alternative approach to the stability analysis proposed by Silva & Barreto. *Rev. Bras. Genét.*, 12:567-580, 1989.
3. EBERHART, S. A. & RUSSELL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.*, 6:36-40, 1966.

4. FUNNAH, S. M. & MAK, C. Genotype x environment interactions on grain yield and other characters of soybeans. *Exp. Agric.*, 16:387-392, 1980.
5. GAMA, E. E. G. & HALLAUER, A. R. Stability of hybrids produced from selected and unselected lines of maize. *Crop Sci.*, 20:263-266, 1980.
6. KANG, M. S. & MILLER, J. D. Genotype x environment interactions for cane and sugar yield and their implications in sugarcane breeding. *Crop Sci.*, 24:435-440, 1984.
7. MORAIS, O. P. de. *Adaptabilidade, estabilidade de comportamento e correlações fenotípicas, genotípicas e de ambiente em variedades e linhagens de arroz (Oryza sativa L.)*. Viçosa, UFV, Impr. Univ., 1980. 70 p. (Tese M. S.).
8. OLIVEIRA, A. C. *Comparação de alguns métodos de determinação de estabilidade em plantas cultivadas*. Brasília, UnB, 1976. 64 p. (Tese M. S.).
9. PLAISTED, R. L. & PETERSON, L. C. A technique for evaluating the ability of selection to yield consistently in different locations or seasons. *Amer. Pot. J.*, 36:381-385, 1959.
10. SOUZA JR., C. L. & VENCOSKY, R. Covariância entre parentes na presença da interação genótipo x ambiente. In: SIMPÓSIO DE ESTATÍSTICA APLICADA À EXPERIMENTAÇÃO AGRONÔMICA, 3º, Lavras, 1989. Resumos... Lavras, ESAL, 1989. p. 50-51.
11. TAI, G. C. C. Genotypic stability analysis and its applications to potato regional trials. *Crop Sci.*, 11:184-190, 1971.